

Напряжение $\dot{U}_{\text{КС}}$	0	-3,15	18,92	0
-------------------------------------	---	-------	-------	---

По данным таблицы построены векторные диаграммы расчетных значений токов и напряжений прямой (1), обратной (2) и нулевой (0) последовательностей для несимметричных видов коротких замыканий [3, 4].

Список использованных источников

1. Васильев И. Е., Ключев Р. В., Долганов А. А. Разработка научно-технических основ расчета функционирования и управления малыми гидроэлектростанциями (МГЭС) // Устойчивое развитие горных территорий. 2013. № 3 (17). С. 5–9.
2. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М. : Высшая школа, 1985. 536 с.
3. Ключев Р. В. Анализ устойчивой работы высокогорной гидроэлектростанции // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 263–268.
4. Васильев И. Е., Ключев Р. В., Долганов А. А. Исследование и расчет устойчивости работы высокогорных малых гидроэлектростанций (МГЭС) // Устойчивое развитие горных территорий. 2011. № 3 (9). С. 50–58.

УДК 624.9

ОСОБЕННОСТИ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ FEATURES OF THE YIELD OF SOLID FUELS

Хасанов Р. Р., Данилова Д. А., Худякова Г. И.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, hasanovrusslan@mail.ru

Khasanov R. R., Danilova D. A., Khudyakova G. I.

Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе приведены характеристики твердых топлив таких как: торф, бурый уголь, кузнецкий уголь и антрацит, Даны характеристики различных видов топлив, и примеры установок для анализа процесса пиролиза и его классификация. Рассчитаны кинетические параметры конверсии выхода летучих 4 видов топлив при неизотермическом разогреве в воздушной среде.

Abstract: The paper presents the characteristics of solid fuels such as peat, lignite, Kuznetsk coal and anthracite, given the characteristics of different types of fuels, and the installation examples for the analysis and classification of the pyrolysis

process. The kinetic parameters of the conversion yield of volatile four fuels with non-isothermal heating in air.

Ключевые слова: *пиролиз; уголь; торф; антрацит; выход летучих; конверсия; твердое топливо.*

Key words: *pyrolysis; coal; peat; anthracite; the yield of volatile; conversion; solid fuels.*

Пиролиз – это термическое разложение органических и неорганических соединений при недостатке или отсутствии окислителя. Процесс термического пиролиза распространен в современной промышленности при химической переработке нефти и газа. Процесс пиролиза – это множество элементарных реакций, протекающих последовательно или параллельно.

Прикладные и теоретические исследования пиролиза твердых топлив активно развиваются на протяжении последних десятилетий в Великобритании, США, Индии и других странах мира [1].

Особенностью пиролиза низкосортных топлив являются пониженные температуры до 450 °С (древесина). После выхода летучей части (в форме газа или жидкости, например, смол) остается твердый коксовый остаток (древесный уголь), который широко используется в промышленности у бытовых потребителей. Состав летучих пиролиз древесины варьируется в зависимости от температуры и скорости разогрева, составляет в основном CO₂ до 50 %, CO до 30 %, до 15 % метана, порядка 2 % водорода и углеводороды до 4 %. При этом получаемый газ имеет теплоту сгорания до 15 МДж/м³. Одна из особенностей это замена традиционных энергоносителей на топлива, полученные с помощью пиролиза из биомассы, что дает возможность снижения выбросов парниковых газов и других вредных веществ в окружающую среду.

Отличие пиролиза торфяного сырья от древесного заключается в повышенном выходе смол и некоторого количества углеводородных соединений высокого порядка (например, этан), и уровня температур от 700 до 1000 °С. Торф имеет больший выход продуктов пиролиза таких как кокс, торфяная смола и подсмольная вода. Твердый коксовый остаток, полученный в результате пиролиза торфа может быть использован в химической и металлургической промышленности. Пиролизная смола представляет собой смесь химических соединений, которые могут быть использованы как сырье для химической промышленности.

Процесс пиролиза каменного угля технологически практически не изменился, но появилось новое более эффективное оборудование для термического разложения, в результате совокупности термохимических превращений образуются газообразные, жидкие и твердые продукты. Особенностью процесса является более широкий температурный диапазон, который зависит от вида угля и необходимых конечных продуктов.

Различают низкотемпературный процесс 500-600 °С, так же называемый полукоксование и высокотемпературный при 800-1000 °С.

Основной продукт пиролиза каменного угля это кокс, который применяют в металлургии, в жидкой фазе получается каменноугольная смола (комплексная смесь органических соединений), которая служит сырьем для химической промышленности [2].

В табл. 1 проведено обобщение известных данных по влиянию скорости и температуры процесса пиролиза на выход продуктов [3].

Теплота сгорания кокса во всех видах угля примерно одинакова и составляет 30 МДж/кг. Важность сырья низкая, размеры проб сравнительно небольшие. Процесс пиролиза твердого топлива может решить задачу получения синтетических жидких топлив, для замены нефтяного сырья при условии очистки продуктов пиролиза от кислорода, азота и соединений серы.

Процесс пиролиза проводят в установках кипящего слоя, в поточных и слоевых установках. Различают процессы и по скорости нагрева быстрый пиролиз 10-200 °С /с и медленный $\ll 1$ °С /с. Медленный и сверхмедленный (карбонизация) процессы пиролиза позволяют получить наибольшее количество твердого остатка (кокса). При быстром нагреве и умеренных температурах (порядка 500 °С) доминирующим продуктом является жидкость с высокой теплотой сгорания, состоящая из сложных органических соединений и воды.

Таблица 1

Данные по влиянию скорости и температуры процесса пиролиза на выход продуктов

	Быстрый низко- температурный	Быстрый высоко- температурный	Медленный	Карбонизация
Время процесса	1 с	1 с	5-30 мин	часы, дни
Температура, °С	450-600	650-1000	500-700	400-600
Давление, кПа	100	10-100	100	100
Выход газа, % от м.с.с.	до 30	до 70	до 40	до 40
Теплота сгорания газа, МДж/нм ³	10-20	10-20	5-10	2-4
Выход жидких продуктов, % от м.с.с.*	до 80	до 20	до 30	до 20

Теплота сгорания жидких продуктов, МДж/кг	23	23	23	10-20
Выход кокса, % от м.с.с.	До 15	До 20	20-30	30-35

* Количество жидкости с учетом воды образованной при разложении и исходной влажности сырья.

Принципиальная схема экспериментальной установки для пиролиза угля представлена на рис. 1 [4].

Реактор 5 используется для проведения пиролиза, длина реактора в кварцевой трубе составляет 60 см, а внутренний диаметр 2,5 см. В каждом цикле в кварцевую лодочку 10 длиной 6 см помещают примерно 3 г образца. Через реактор пропускают N_2 , который подается из газовых баллонов 1, при скорости потока 300 мл/мин в течение 20 минут. Подача газа производится через фильтры 2 и регулируется с помощью регулятора массового расхода 3. После того, как воздух удаляется, образец помещают в электрическую печь 6 и нагревают от температуры окружающей среды до необходимой для процесса пиролиза температуры со скоростью 10 °С/мин. Температура в печи регулируется с помощью регулятора температуры 4. Смола в процессе пиролиза находится в газообразном состоянии, захватывается из реактора газовым потоком и направляется в коллектор нефти 8. Газ, полученный в процессе пиролиза, охлаждается в охладителе 7 и направляется в амортизатор топливного газа 9.

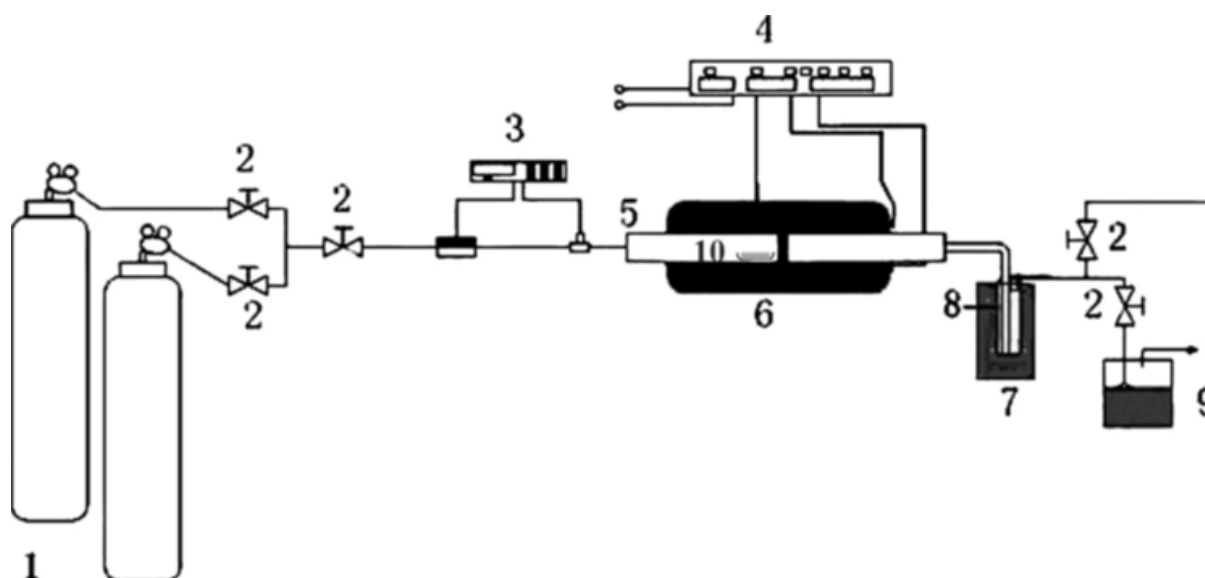


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема экспериментальной установки для пиролиза угля

В данной работе были проведены эксперименты пиролиза твердого топлива методом термогравиметрического анализа (ТГА). Производился расчет

параметров конверсии выхода летучих твердых топлив. Начальные параметры исследуемых топлив приведены в табл. 2.

Таблица 2

Начальные параметры исследуемых топлив приведены

№	Топливо	Влажность (W, %)	Выход летучих (V, %)	Зольность (A, %)
1	Торф	8	57	10
2	Бурый уголь	5	39	34
3	Кузнецкий уголь	3	34	28
4	Антрацит	3	9,5	12

Определялись кинетические параметры выхода летучих в неизотермическом режиме с разной скоростью нагрева печи. Эксперименты проводились на приборе ТГА *NETZSCH STA 449F3*, определение параметров производилось по скорости убыли массы (рис. 2).

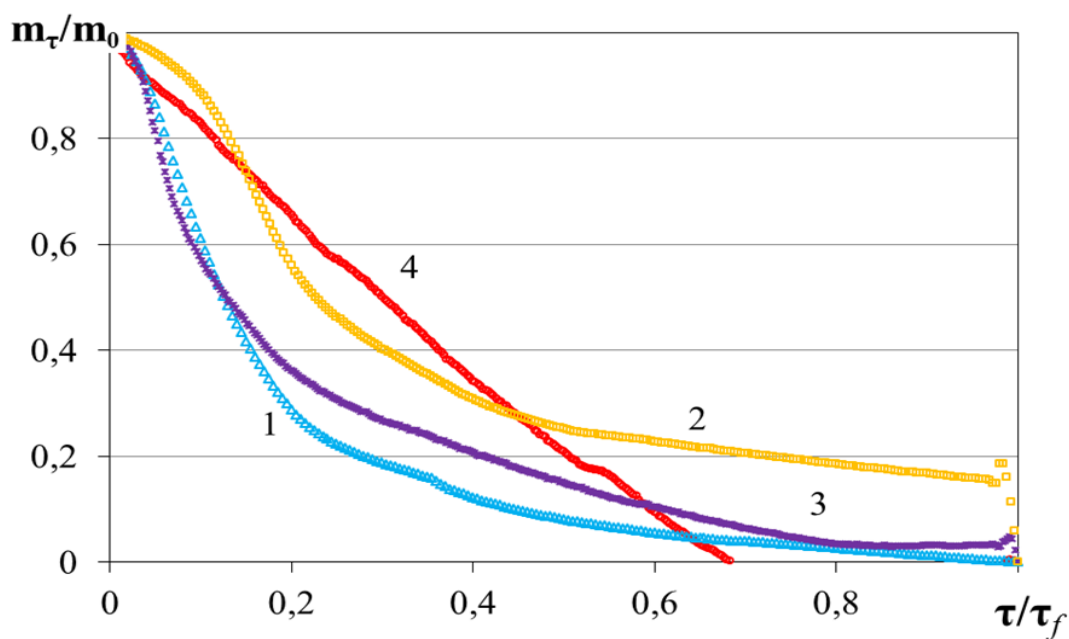


Рис. 2. Скорость убыли массы топлив в зависимости от относительного времени

Также для нахождения энергии активации был построен график зависимости R_τ от X (рис. 3).

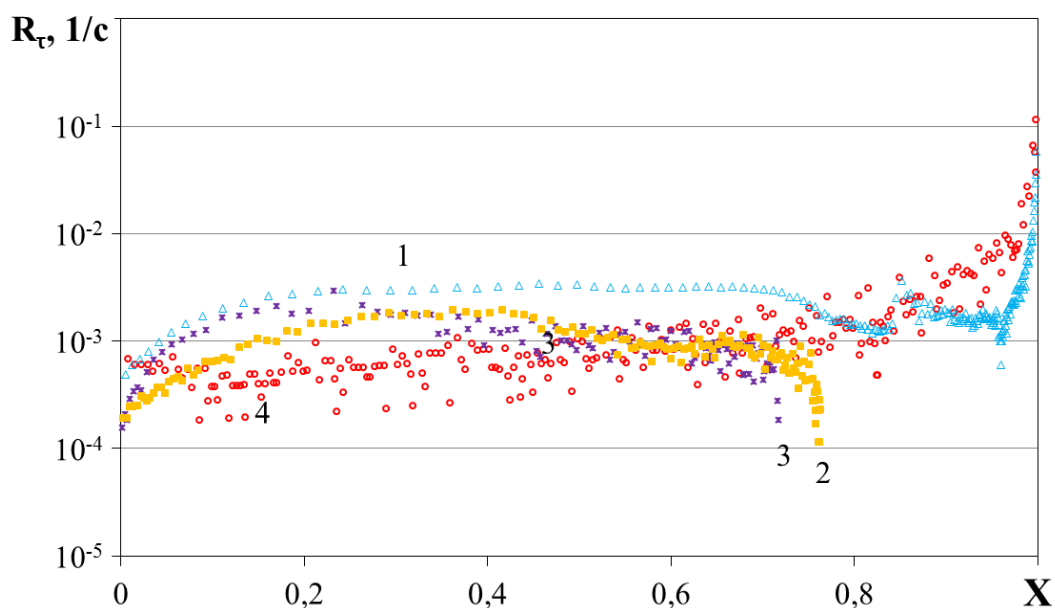


Рис. 3. Зависимость R_τ от X для данных топлив

В результате проведенных расчетов была определена энергия активации E_a для четырех топлив и коэффициент k_0 . Выбранный диапазон X от 0,2 до 0,6. В случае бурого угля диапазон был сокращен до 0,4. На данном диапазоне наблюдается наибольшая скорость выхода летучих. Полученные величины сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета

Топливо	X	E_a , кДж/моль	k_0 , 1/с
Торф	0,188-0,68	71,6	10^6
Бурый уголь	0,2-0,4	13,0	10^1
Кузнецкий уголь	0,11-0,6	24,6	10^2
Антрацит	0,2-0,61	5,7	10^1

Список использованных источников

1. Гориславец С.П., Тменов Д.Н., Майоров В.И. Пиролиз углеводородного сырья. 1977. С. 68-69.
2. Солодова Н.Л., Абдуллин А.И. Пиролиз углеводородного сырья. уч. пособие. Казань 2008. С. 74-80.
3. Василевич С.В., Дмитриев Г.М., Кожурин В.Н., Малько М.В. Исследование термохимической конверсии биомассы для получения различных видов топлив. Кишинёв, 2012. 325 с.
4. Junli Xu, Zongqing Bai, Jin Bai, Lingxue Kong, Dongmei Lv, Yanna Han, Xin Dai, Wen Li. Физико-химическая структура и свойства горения обугленных частиц полученных от совместного пиролиза бурого угля с прямым сжижения угольного остатка. Китай, 2016. 106 с.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИРОЛИЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ

POSSIBILITY OF USING PYROLYSIS TECHNOLOGY IN INDUSTRIAL FACILITY

Хомяков А. Л.

Вятский государственный университет, г. Киров, 20cent@inbox.ru

Khomyakov A. L.

Vyatka State University, Kirov

Аннотация: В работе рассматривается возможность получения газообразного топлива из альтернативных источников. Рассмотрена проблема утилизации твердых бытовых отходов и возможные способы ее решения. Рассмотрены основные материалы, которые могут быть подвергнуты пиролизу.

Abstract: The paper considers the possibility of gaseous fuels from renewable sources. The problem of solid waste management and possible ways of solving it. The basic materials which may be subjected to pyrolysis.

Ключевые слова: пиролиз; древесные пеллеты; мусоросжигающий завод; древесные отходы.

Key words: pyrolysis; wood pellets; waste incineration plant; wood waste.

В настоящее время с общепринятой точки зрения газообразное топливо является наиболее предпочтительным среди всех используемых видов топлив. Наиболее распространенным газообразным топливом в настоящее время является природный газ. Данное топливо транспортируется по газопроводам, и может использоваться для множества различных коммунально-бытовых и промышленных нужд, таких как приготовление пищи, отопление и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий, обеспечение различных технологических процессов.

Вместе с тем, месторождения природного газа распределены крайне неравномерно, даже в пределах Российской Федерации. Наибольшие запасы сконцентрированы в Сибирском и Южном Федеральном округах. Потребление природного газа происходит по всей Российской Федерации, что создает необходимость доставки газа до потребителей. Для этого прокладываются магистральные газопроводы высокого давления, строятся станции повышения давления, а также газораспределительные станции. Сооружение таких объектов инженерной инфраструктуры требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат.